

УДК 556.531.3.4

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ТА ТРАНСФОРМАЦІЇ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН В УМОВАХ ПІДГРІТИХ ВОД (НА ПРИКЛАДІ ВОДОЙМИ-ОХОЛОДЖУВАЧА ЗАПОРІЗЬКОЇ АЕС)

Осадчий В.І., Мостова Н.М., Осадча Н.М., Чернишова Л.О.

*Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут,
м. Київ*

Ключові слова: водойма-охолоджувач, теплове навантаження, випаровувальне концентрування, карбонатно-кальцієва рівновага, баланс

Вступ. Хімічні елементи, що надходять у водні об'єкти за рахунок природних процесів або внаслідок антропогенного впливу, не залишаються у стабільному стані, а зазнають певних змін відповідно до їх фізико-хімічних властивостей та умов водного середовища. Знання процесів трансформації і шляхів міграції хімічних елементів та їх сполук у водному середовищі має велике значення як для розвитку багатьох напрямів наукових досліджень, так і для вирішення проблем прикладного характеру.

Водойми-охолоджувачі (ВО) атомних і теплових електростанцій характеризуються незвичним для природних вод термічним режимом внаслідок надходження додаткового тепла із систем охолодження енергоблоків. В умовах теплового навантаження в екосистемі ВО формується особливий гідрохімічний і гідробіологічний режим, що визначає міграційні властивості хімічних елементів та сполук, їх трансформацію й акумуляцію.

Протягом 70-90-х років ХХ століття успішно проводились дослідження впливу підігрітих скидових вод на екосистеми ВО [1-9]. Досягнуто значних успіхів у дослідженні гідробіологічного режиму [3-4, 6, 8], визначено гідрохімічні характеристики водних об'єктів атомної і теплової енергетики [1, 7-8], виконано оцінку теплового впливу об'єктів енергетики на водне середовище [9].

Запорізька АЕС (ЗАЕС) – найбільша атомна електростанція України, на якій працює 6 енергоблоків загальною потужністю 5,9 млрд. квт/год, і де виробляється 25% всієї електроенергії України. Станція розміщена на лівому березі Каховського водосховища біля м. Енергодар, нижче м. Запоріжжя на 70 км і за 160 км до греблі Каховської ГЕС. Технічне водопостачання АЕС здійснюється за оборотною схемою і включає ВО з комплексом бризкальних басейнів і 2 градирні.

Об'єм водойми-охолоджувача ЗАЕС (ВО ЗАЕС) – 43 млн.м³, площа водного дзеркала – 9,5 км², середня глибина – 4-5 м, максимальна – 16 м. Циркуляційна вода, що скидається у водойму після охолодження

енергоблоків, несе додаткове тепло, кількість якого залежить від потужності електростанції. Частина тепла надходить в атмосферу, решта – формує тепловий режим водойми і впливає на процеси кругообігу речовин. На хімічний склад ВО ЗАЕС впливають також стічні води промислово-зливової каналізації промайданчика АЕС і баків хімводоочистки, комунально-побутових стічних споруд АЕС і м.Енергодар.

Метою нашого дослідження було вивчення особливостей розподілу і трансформації хімічних елементів і сполук в умовах підігрітих вод на прикладі ВО Запорізької АЕС.

Матеріали та методи досліджень. У якості вихідної інформації опрацьовано матеріали багаторічних експериментальних робіт відділу гідрохімії УкрНДГМІ, отримані під час експедиційних досліджень на ВО ЗАЕС і Каховському водосховищі, та результати хімічного контролю води гідротехнічних споруд служби екологічного моніторингу ЗАЕС.

Аналіз хімічного складу води ВО ЗАЕС виконано відповідно до загальноприйнятих методик [10].

Для вивчення умов і чинників трансформації хімічних елементів було використано програмний модельний комплекс TETRA [11], розроблений в УкрНДГМІ на базі математичної моделі MINTEQA2 [17].

Для визначення спрямованості внутрішньоводоймових процесів, кількісної оцінки розподілу, трансформації й акумуляції речовин було використано розроблену нами раніше балансову модель міграції різних класів хімічних речовин у водоймі-охолоджувачі.

Результати та їх обговорення.

Газовий режим та рН води. Характерною особливістю ВО є специфічний термічний режим [1, 12–14]. Унаслідок надходження підігрітої води з систем охолодження енергоблоків АЕС температура води ВО навіть у найбільш холодній його зоні на 5-18 градусів вище порівняно з природними умовами, а її середнє багаторічне значення становить близько 23 °С [14]. Підвищена температура сприяє бурхливому розвитку гідробіонтів, що призводить до зростання у воді вмісту розчиненого кисню. У поверхневому шарі ВО ступінь насичення води киснем іноді досягав 220 %. У літні місяці за відсутності вітро-хвильового перемішування водних мас у ВО відзначалася вертикальна стратифікація вмісту кисню з виникненням анаеробних умов у придонному шарі води.

Розвиток фітопланктону призводить до зменшення у воді вмісту CO₂ і як наслідок цього у ВО спостерігався зсув кислотно-лужної рівноваги вправо, при цьому середня багаторічна величина рН становила 8,35, а максимальне значення водневого показника досягало 9,0 одиниць.

Головні іони та мінералізація води. В умовах значного теплового навантаження основного значення у формуванні складу головних іонів ВО ЗАЕС набув процес випаровувального концентрування, внаслідок якого значно збільшилася мінералізація води та змінився її іонний склад.

Загальна мінералізація води за перші дев'ять років експлуатації ВО у безпродувному режимі зросла більше ніж у 2,5 разу і на кінець 1993 р. становила майже 1000,0 мг/дм³ (рис. 1).

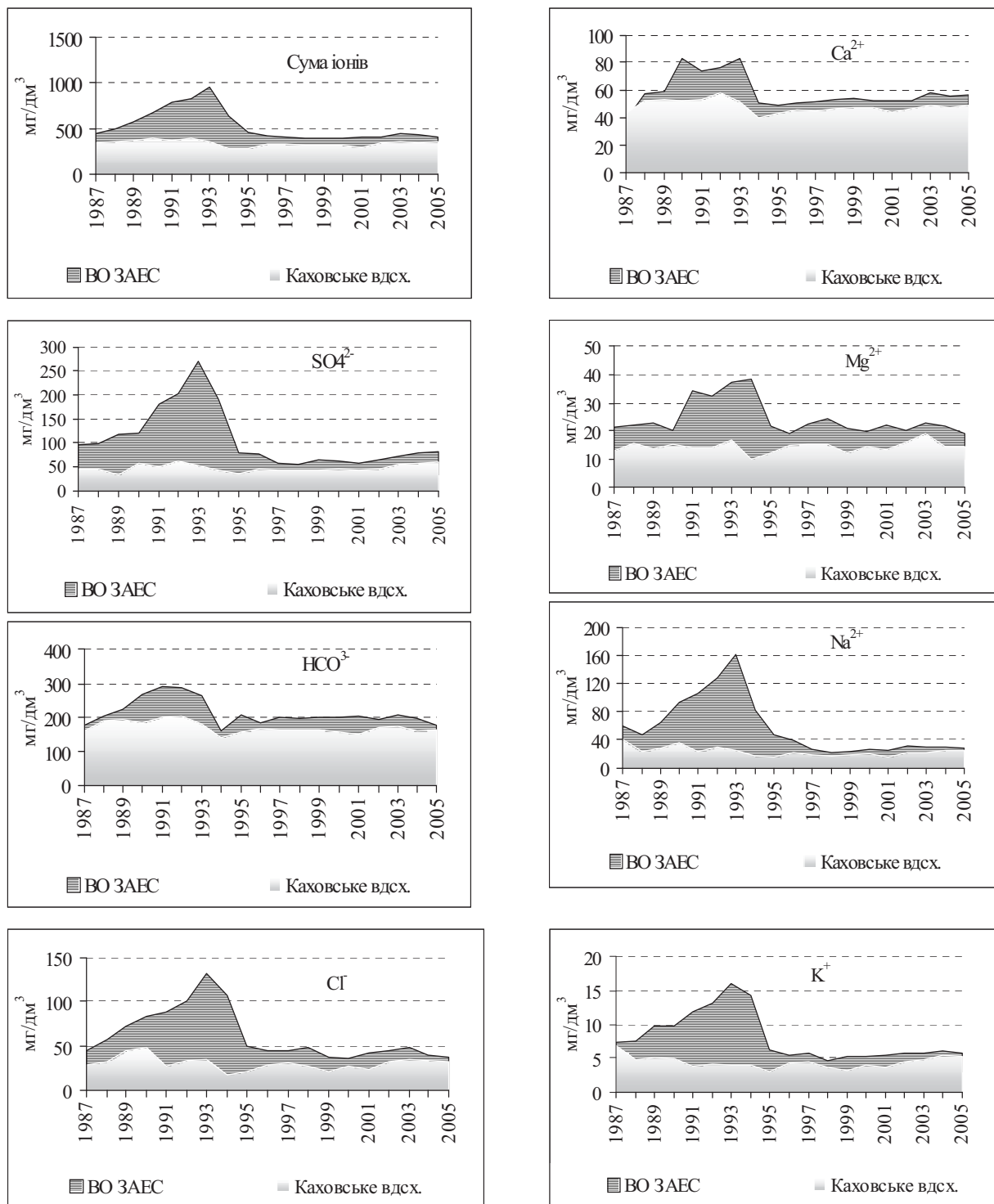


Рис. 1. Динаміка вмісту головних іонів і мінералізації води у ВО ЗАЕС і Каховському водосховищі (1987 – 2005 рр.)

У ВО ЗАЕС за цей період спостерігалось накопичення добре розчинних сульфатних і хлоридних солей натрію та калію (NaCl, KCl, Na₂SO₄ та ін.).

З початку експлуатації ЗАЕС до 1993 року вміст іонів натрію у воді ВО збільшився з 40,0 до 160,0 мг/дм³, тобто у 4 рази, що перевищило

ступінь концентрування усіх інших іонів (див. рис. 1). За відповідний період у воді Каховського водосховища, водою з якого підживлюється ВО ЗАЕС, вміст Na^+ змінився з 23 мг/дм³ до 28 мг/дм³.

Концентрації хлоридних іонів у воді Каховського водосховища за період 1987–2005 рр. коливалися у межах 18–48 мг/дм³, а у ВО – зросли утричі (з 37 мг/дм³ до 133 мг/дм³) (див. рис. 1).

Аналогічних змін зазнав вміст сульфатних іонів. Концентрації SO_4^{2-} у ВО зросли у 2,8 разу, з 97 мг/дм³ до 269 мг/дм³. У воді Каховського водосховища збільшення вмісту вказаних аніонів становило лише у 1,2 разу (див. рис.1).

Випаровувальне концентрування призвело також до збільшення у ВО ЗАЕС вмісту розчинених у воді іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , концентрації яких перевищували вміст відповідних іонів у воді Каховського водосховища. Проте аналізуючи динаміку вказаних іонів у воді ВО добре помітно істотну відмінність від зміни концентрацій інших іонів за відповідний проміжок часу.

Мала величина добутку розчинності сполук кальцію і магнію (зокрема CaCO_3 і MgCO_3) і негативний температурний коефіцієнт розчинності (зі збільшенням температури добуток розчинності зменшується) призводить до зростання індексу насичення води у ВО стосовно відповідних мінералів.

Оскільки умови розчинності карбонату кальцію у воді визначаються міжфазовою рівновагою карбонату кальцію між його розчиненою і твердою фазами (мінералами), у водоймі-охолоджувачі більш часто, ніж у природних водних об'єктах, створюються умови до зсуву карбонатно-кальцієвої рівноваги й утворення хомогенного карбонату кальцію. Так, у воді ВО ЗАЕС за час безпродувного режиму концентрації іонів Ca^{2+} зросли у 2,1 разу (з 39 мг/дм³ до 83 мг/дм³), що значно менше порівняно з іншими головними іонами (див. рис. 1). У воді Каховського водосховища за цей же час концентрації кальцію зросли у 1,2 разу і змінювалися у межах 40–49 мг/дм³.

За фізико-хімічних умов, що склалися у водоймі-охолоджувачі, вміст розчиненого кальцію лімітується станом карбонатно-кальцієвої системи. Зростання концентрацій розчинених іонів Ca^{2+} внаслідок випаровування, високі значення температури і рН води (рН=8,3-9,0) в умовах активізації фотосинтезу створюють сприятливі умови для пересичення води відносно кальциту. Спостерігається зрушення рівноважного стану карбонатно-кальцієвої системи у напрямку утворення важкорозчинних сполук карбонату кальцію ($\text{CaCO}_3\downarrow$) і виведення їх із фази розчину. Найбільш активно цей процес протікає у зонах підвищеної циркуляції водних мас, які одночасно зазнають найбільшого впливу високих температур (температура води влітку становить 34-36°С).

Значного збільшення вмісту іонів магнію у воді ВО не відбулося через часткове його виведення із водного середовища при співосажденні з карбонатом кальцію. Так, за період з моменту пуску першого енергоблоку

і до 1993 року вміст магнію у воді ВО збільшився в 1,8 разу (з 21,0 мг/дм³ до 38,0 мг/дм³) (див. рис. 1). У цей же час концентрації магнію у воді Каховського водосховища зросли лише на 4 мг/дм³.

Отримані нами експериментальні дані були також підтверджені результатами термодинамічного моделювання стану карбонатно-кальцієвої і карбонатно-магнієвої гідрохімічних систем ВО ЗАЕС, які показали, що підвищення температури води призвело до збільшення індексу насичення води стосовно кальциту і магнезиту. Відповідно до виконаних розрахунків насичення води стосовно кальциту буде спостерігатися за умови досягнення температури води +30°С, а магнезиту – (+75°С). Найбільш імовірним мінералом, що утворить у водоймі-охолоджувачі хемогенний твердий осад, буде карбонат кальцію [12].

Відповідно до принципу хімічного розділення, сформульованого Дривером [16], нами розроблено прогноз трансформації іонного складу води ВО ЗАЕС в умовах підігріву. Як видно з рис. 1 у 1989 р. спостерігалось зменшення концентрації іонів Ca²⁺, однак, враховуючи те, що дотримувалося співвідношення $Ca^{2+} > HCO_3^- + CO_3^{2-}$, цей іон продовжував накопичуватись у воді, і в 1990 р. його вміст досяг значень 4,15 мг-екв/дм³. За цих умов почалося виведення CaSO₄, що знайшло відображення у відповідному зменшенні сульфатних іонів. Оскільки спостерігалось співвідношення $m_{Ca^{2+}} > m_{SO_4^{2-}}$, то в розчині знову почав накопичуватись кальцій, аж до рівня 4,15 мг-екв/дм³. Протягом наступних трьох років цей цикл повторився знову. Це дозволило нам зробити висновок, що за даних меж коливань мінералізації води вміст кальцію за рахунок періодичного його виведення із водного середовища не буде перевищувати 4,15 мг-екв/дм³. Цей стан буде спостерігатися до того часу, доки буде дотримуватись співвідношення $m_{Ca^{2+}} > m_{SO_4^{2-}}$.

На основі отриманих даних проведено розрахунок балансу головних іонів і мінералізації води ВО ЗАЕС при безпродувному режимі експлуатації, який показав, що прихідна частина балансу для всіх іонів і мінералізації води перевищила витратну частину (табл. 1). Це вказує на те, що процес кругообігу речовин сприяв накопиченню їх у ВО ЗАЕС. Таке перевищення для мінералізації води становило 32%, а найбільші значення перевищення балансу мали гідрокарбонатні іони і кальцій, відповідно 58% та 57%. Серед процесів, що сприяли накопиченню іонів у ВО, основну роль справляло випаровувальне концентрування. Підігрів води і втрата її частини внаслідок випаровування диктували потребу відновлення об'єму ВО до проектного рівня за допомогою постійного підживлення, унаслідок чого у водоймі значно зросли концентрації розчинених речовин.

Для покращення хімічного складу ВО у 1993 році було запроваджено регулярну продувку. Після започаткування продувального режиму концентрації іонів натрію у воді ВО зменшились і практично наблизились до рівня перших двох років експлуатації АЕС (28–31 мг/дм³), вміст хлоридних іонів знизився у 2,7 разу (до 50 мг/дм³), вміст

сульфатних іонів знизився майже у 5 разів, а їх зміни стали носити синхронний характер із таким у Каховському водосховищі (див. рис. 1). Після початку продувних робіт вміст кальцію практично стабілізувався і коливався у межах 50–56 мг/дм³.

Таблиця 1. Баланс головних іонів і мінералізації води при безпродувному режимі експлуатації ВО ЗАЕС, 1992 р. (т/рік)

	Прихідна частина				Витратна частина	
	ПЗК	КПВ	ХС	П	В	Ф
HCO_3^-	2459,32	121,24	841,00	27281,6	14172,4	455,5
SO_4^{2-}	1854,41	33,43	503,77	8766,66	10384,1	333,76
Cl	865,56	21,62	284,0	4608,29	5072,58	163,04
Ca^{2+}	616,83	33,94	306,99	7757,75	3584,16	115,20
Mg^{2+}	289,62	7,28	67,82	1867,86	1762,21	56,64
Na^+	1109,25	27,77	290,03	4444,68	6804,93	218,72
K^+	117,06	3,66	49,79	654,43	717,85	22,88
Σi	7309,0	248,95	2343,38	55381,3	42589,1	1368,87

Примітка: ПЗК – стічні води промислово-зливової каналізації проммайданчика АЕС; КПВ – стічні води комунально-побутових стоків з об'єднаних очисних споруд м. Енергодара; ХС – стічні води хімцеху; П – підживлення з Каховського водосховища; В – винесення з вітром; Ф – інфільтрація через дамбу.

Результати розрахунку балансу головних іонів вказують на те, що навіть при експлуатації ВО у продувному режимі у його воді накопичується значна кількість головних іонів (переважно HCO_3^- і Ca^{2+}) (табл. 2).

Таблиця 2. Баланс головних іонів і мінералізації води ВО ЗАЕС при експлуатації в режимі продувки, 1997 р. (т/рік)

Показник	Прихідна частина	Витратна частина	Акумуляція
HCO_3^-	30703,19	14627,89	16075,30
SO_4^{2-}	11158,26	10717,87	440,39
Cl	5779,47	5235,62	543,84
Ca^{2+}	8715,51	3699,36	5016,15
Mg^{2+}	2229,59	1818,85	410,74
Na^+	5871,74	7023,65	-1151,91
K^+	824,94	734,73	90,20
Σi	65282,68	43957,97	21324,72

Біогенні елементи. Для сезонних коливань вмісту біогенних речовин у водоймах замкнутого типу характерне зменшення на початку періоду розвитку первинних продуцентів у результаті асиміляції гідробіонтами, а з другої половини літа й особливо восени, коли переважають деструкційні процеси, концентрації мінеральних сполук азоту і фосфору досягають максимальних величин. Проте цей класичний прояв яскраво вираженої сезонної динаміки для ВО ЗАЕС порушується зміною теплового режиму останнього. Якщо для Каховського водосховища інтенсивний розвиток фітопланктону характерний в період з

квітня по вересень, то для ВО, де середня температура води взимку становить +12°C, цей період подовжується на декілька місяців. Крім того, у ВО, як правило, відсутній пік інтенсивного розвитку фітопланктону [6]. Загибель фітопланктону відбувається після періодичного проходження води через системи охолодження енергоблоків, де температура води перевищує +35°C. Наступна седиментація й трансседиментація в глибоководних зонах ВО відмерлих залишків фітопланктону приводить до виведення й депонування в донних відкладах спожитих біотою біогенних речовин.

Результати балансових розрахунків показали, що при експлуатації ВО у безпродувному режимі у його воді відбувалося накопичення біогенних елементів (головним чином $P_{\text{мін.}}$) та органічних речовин (табл. 3). Це спричинено, з одного боку, інтенсифікацією гідробіологічних процесів у водоймі-охолоджувачі, а з іншого – ВО ЗАЕС є приймальником комунально-побутових і промислових стічних вод.

Таблиця 3. Баланс біогенних елементів і органічних речовин при безпродувному режимі експлуатації ВО ЗАЕС, 1992 р. (т/рік)

Показник	Прихідна частина	Витратна частина	Акумуляція
NH_4^+	102,49	18,50	83,99
NO_2^-	8,95	4,88	4,07
NO_3^-	479,44	151,06	328,38
$N_{\text{мін.}}$	195,95	48,81	147,14
$N_{\text{орг.}}$	196,02	86,32	109,70
PO_4^{3-}	32,31	9,76	22,56
$P_{\text{орг.}}$	14,70	2,88	11,82

Запровадження продувки дозволило значно знизити накопичення біогенних елементів у досліджуваній ВО, що становило для NH_4^+ – 34 рази, для NO_2^- – 24 рази і для NO_3^- – 8 разів. Проте накопичення фосфатних іонів зменшилося лише в 0,9 разу.

Розрахункові дані показали, що концентрації мінерального фосфору у ВО не перевищували відповідні значення у воді Каховського водосховища, хоч під час продувки абсолютна кількість винесених сполук $P_{\text{мін.}}$ була меншою порівняно з кількістю, яка надійшла у ВО (рис. 2). Очевидно, що цьому сприяли інтенсивні процеси самоочищення внаслідок сорбції фосфатних іонів на завислих речовинах з подальшим виведенням у донні відклади.

Важкі метали. Важкі метали надходять у водне середовище ВО ЗАЕС із джерела водопостачання, зі стічними водами, з атмосферними випадіннями та в результаті технологічної діяльності АЕС.

Проведені дослідження дозволили виявити, що багаторічна динаміка вмісту розчинених у воді важких металів (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Co, Cd) у ВО ЗАЕС і Каховському водосховищі мала схожий характер. Для заліза і марганцю простежувалась тенденція до незначного збільшення їхніх концентрацій у воді обох водних об'єктів, для цинку відмічалася чітка

тенденція до зростання (з 0,003-0,005 мг/дм³ у 1995 р. до 0,045 мг/дм³ у 2005 р.) (рис. 3).

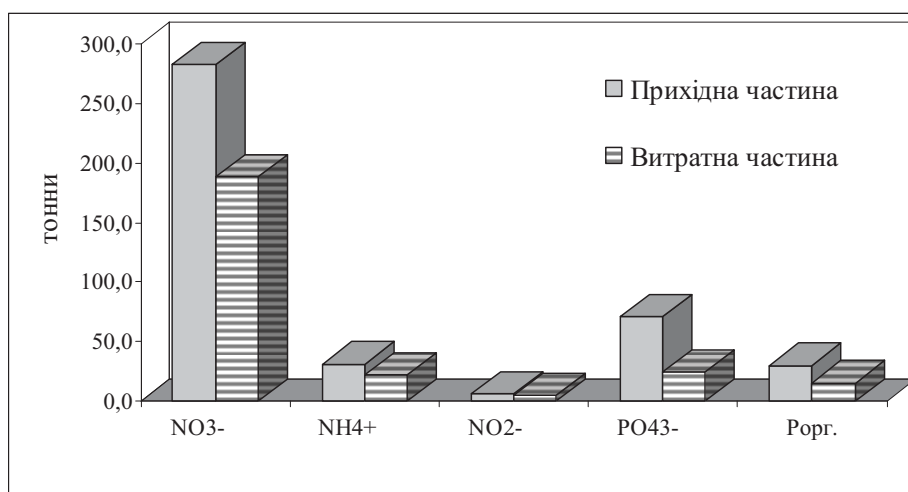


Рис. 2.– Баланс біогенних елементів та органічних речовин у воді ВО ЗАЕС за час проудвки (вересень 1996 – березень 1997)

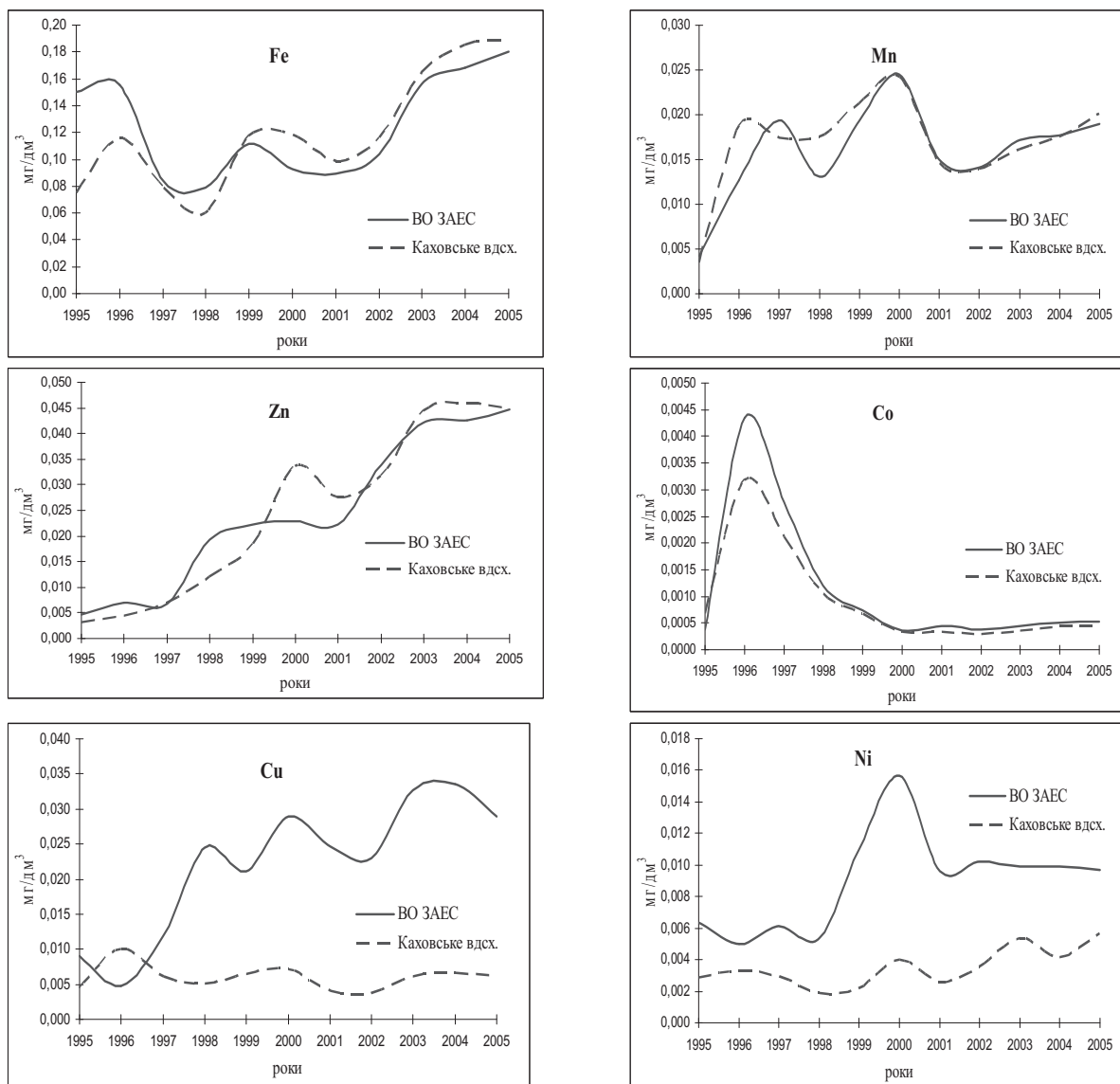


Рис. 3. Багаторічна динаміка вмісту важких металів у воді ВО ЗАЕС і Каховського водосховища

Для кобальту протягом усього досліджуваного періоду у воді ВО ЗАЕС спостерігалось незначне перевищення вмісту порівняно з Каховським водосховищем (див. рис. 3). Сезонні варіації вмісту важких металів зумовлені змінами фізико-хімічних умов водного середовища й інтенсивністю перебігу гідробіологічних процесів. Окремі разові підвищення відбуваються через додаткові надходження важких металів із зовнішніх джерел.

Виняток становили лише нікель та найбільшим чином мідь, для яких характерні значні перевищення концентрацій і тенденція до зростання у воді ВО (див. рис. 3). Якщо у 1996 р. концентрації міді у воді ВО ЗАЕС не перевищували 5 мкг/дм³, то починаючи з 1997 р. відзначалася стійка тенденція до їх збільшення. У 1998 р. середня концентрація міді вже становила близько 40 мкг/дм³, тобто зросла у 8 разів. Одночасно в Каховському водосховищі значних змін не спостерігалось, а концентрації міді коливались у межах 4–6 мкг/дм³. Отримані результати дозволили припустити наявність додаткового зовнішнього джерела надходження міді у ВО ЗАЕС.

Проведені дослідження виявили, що забруднення сполуками міді набрало загального характеру й торкнулося всієї екосистеми ВО ЗАЕС. Як зазначалося вище, у фазі розчину її вміст збільшився у 8 разів, на зависях – у 18 разів (з 30 мкг/дм³ до 560 мкг/дм³), у складі фітопланктону – у 14 разів (з 20 мг/кг с.м. до 290 мг/кг с.м.) і у донних відкладах – з 60 мг/кг до 1200 мг/кг. Це вказувало на наявність постійного значного надходження міді, з яким не справлялися самоочисні механізми ВО.

Дослідження донних відкладів глибоководної зони дозволили встановити час початку збільшення концентрацій міді – кінець 1996 р. – початок 1997 р. Відповідно до наших розрахунків за період 1997–1998 рр. у ВО надійшло від 12 до 16 тонн міді. Саме у цей час на Запорізькій АЕС було запроваджено механічний спосіб очищення систем охолодження від твердих відкладів (так звана кулькова очистка), який ефективно використовується на атомних електростанціях Європи й Америки. Проте системи охолодження паровідвідного тракту на цих станціях виготовлені з неіржавіючої сталі, а на АЕС України в системах охолодження використовуються трубки зі сплаву МНЗ (мідь, нікель, залізо). Отже, додаткове надходження міді й нікелю у ВО ЗАЕС спричинено, найвірогідніше, їх вилуговуванням з поверхні трубок системи охолодження внаслідок руйнації оксидної плівки на їх поверхні у процесі проходження кульок.

Спрямованість міжфазової трансформації металів у системі “вода – завислі речовини” визначається індивідуальними хімічними властивостями кожного з металів, кількістю завислих речовин, їхнім гранулометричним і мінералогічним складом, а також фізико-хімічними умовами водного середовища. В умовах постійного теплового навантаження у ВО змінюються фізико-хімічні умови водного середовища й інтенсифікуються гідробіологічні процеси, що призводить до переходу

металів у завислу форму міграції з наступною їх седиментацією і накопиченням у донних відкладах.

Як свідчать вищенаведені дані, у ВО ЗАЕС переважна більшість заліза (понад 85%) й 47% марганцю мігрували в складі завислих форм. А для цинку, міді, свинцю, нікелю, кобальту й кадмію більш характерним був розчинений стан – 84-97%.

Значною асиміляційною дією відносно важких металів відзначається фітопланктон. Посилений приріст біомаси під час піків його розвитку зумовлює утилізацію значної кількості розчинених форм важких металів. Порівнюючи дані міграції у складі завислих речовин і фітопланктону (табл. 4), видно, що міграція металів на зависях мінерального походження значно перевищує кількість металу, спожитого фітопланктоном, що свідчить про високу сорбційну ємність дрібнодисперсних мінеральних часток. Проте внаслідок багаторазової циклічності фаз розвитку протягом року, загальна маса важких металів виведених біотою значно перевищує роль мінеральних зависей у цих процесах.

Таблиця 4. Вміст важких металів у завислих речовинах і фітопланктоні ВО ЗАЕС і Каховського водосховища, 1987-1995 рр.

Об'єкт	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Co	Cd
Мінеральні завислі речовини, мг/кг с.м.								
ВО ЗАЕС	10141,1	2557,3	207,2	41,4	55,0	64,4	20,3	32,6
Каховське вдсх.	-	-	941,0	41,1	58,8	141,7	9,4	14,0
Фітопланктон, мг/кг с.м.								
ВО ЗАЕС	1037,9	43,89	72,3	10,35	-	12,90	12,7	-
Каховське вдсх.	1019,7	19,24	115,4	12,02	-	58,13	8,9	-

Як свідчать балансові розрахунки (табл. 5). у ВО ЗАЕС щорічно накопичується значна кількість важких металів, проте збільшення їх концентрацій у воді практично не спостерігалось. Це вказує на те, що у водній товщі відбуваються потужні процеси самоочищення, серед яких важливу роль відіграє сорбція на дрібнодисперсних зависях. Інтенсифікація гідробіологічних процесів через більш високу температуру води також сприяє виведенню важких металів внаслідок біоаккумуляції й подальшому їх депонуванню в донних відкладах.

Таблиця 5. Баланс важких металів при безпродувному режимі експлуатації ВО ЗАЕС, 1992 р. (т/рік)

Речовина	Прихідна частина	Витратна частина	Акумуляція
Fe	27,0	7,8	19,2
Mn	2,1	0,36	1,75
Zn	2,5	0,5	2,0
Cu	2,0	0,26	1,74
Pb	0,25	0,08	0,17
Ni	0,6	0,14	0,46
Co	0,18	0,09	0,09

Проведені розрахунки дозволили зробити висновок про достатній запас буферної ємності ВО ЗАЕС відносно важких металів. Переважна частина важких металів сорбується зависями й споживається гідробіонтами, сприяючи їхньому виведенню з фази розчину. Зсув рівноважного стану карбонатної системи у бік утворення твердої фази карбонату кальцію сприяє виведенню частини металів з фази розчину внаслідок співосадження.

Важливість зменшення забруднення водних екосистем внаслідок трансформації фізико-хімічних форм металів наглядно продемонстрував факт щорічного надходження міді з паровивідного тракту в розмірі 12–16 т. Проте концентрації розчинених форм металу при цьому не зросли катастрофічно, а досягли значень 35–40 мкг/дм³ і стабілізувалися.

Висновки. Поєднання експериментальних методів досліджень, балансових розрахунків і результатів фізико-хімічного термодинамічного моделювання дозволило розробити на прикладі водойми-охолоджувача ЗАЕС алгоритм трансформації хімічних елементів та оцінити особливості їх міжфазового розподілу в умовах теплового навантаження.

В умовах підігрітих вод інтенсифікуються біологічні і фізико-хімічні процеси, наслідком яких є зрушення рівноважного стану карбонатно-кальцієвої і карбонатно-магнієвої систем у бік утворення важкорозчинних сполук типу кальциту і магнезиту і виведення їх із фази розчину.

Високе теплове навантаження призвело до накопичення у водоймі-охолоджувачі внаслідок випаровувального концентрування добре розчинних сульфатних і хлоридних солей натрію та калію.

Встановлено загальну направленість перерозподілу практично для всіх досліджуваних важких металів, іонів Ca²⁺, Mg²⁺, сполук азоту і фосфору із фази розчину в донні відклади.

Основні процеси трансформації важких металів відбуваються у водному середовищі в системі “вода – завислі речовини”. Донні відклади практично не відіграють активної ролі у зазначених процесах і є депо для більшості токсикантів.

Список літератури

1. Ромась М.І. Гідрохімія водних об'єктів атомної і теплової енергетики : монографія / М.І. Ромась. – К. : ВПЦ “Київський ун-т”, 2002. – 532 с.
2. Васенко О.Г. Екологічні основи водоохоронної діяльності в теплоенергетиці / О.Г.Васенко. – Харків : УкрНДІЕП, 2000. – 243 с.
3. Гидробиология водоемов-охладетелей тепловых и атомных электростанций Украины / Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И. и др. – К. : Наук. думка, 1991. – 192 с.
4. Структура и функциональные характеристики пелагических и контурных группировок гидробионтов в водоеме-охладителе Запорожской АЭС / Калиниченко Р.А., Сергеева О.А., Протасов А.А., Сеницына О.О. // Гидробиол. журн. – 1998. – Т. 32, № 1. – С. 15–25.
5. Каратаев А.Ю. Воздействие подогревания на пресноводные экосистемы / А.Ю. Каратаев // Вестн. Бел. ун-та. – 1990. – 133 с. – Деп. в ВИНТИ № 2440-В90.
6. Кафтанникова О.Г. Итоги изучения влияния сбросных подогретых вод на биологический режим их водоемов-охладетелей (в пределах Украины) / О.Г. Кафтанников // Проблемы гидробиологии и альгологии. – 1978. – С. 198–212.
7. Кошелева С.И. Гидрохимический режим водоемов в условиях подогрева / С.И. Кошелева // Гидробиол. журн. – 1976. – №1. – С. 100-111.
- 8.

Химический состав воды и планктон водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС / Сергеева О.А., Калиниченко Р.А., Кошелева С.И., Ленчина Л.Г. // Гидробиол. журн. – 1988. – Т. 24, № 6. – С. 8-14. **9.** Браславский А.П. Тепловое влияние объектов энергетики на водную среду / Браславский А.П., Кумарина М.Н., Смирнова М.Е. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 252 с. **10.** Аналітична хімія поверхневих вод / Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. – К.: Наук. думка, 2007. – 456 с. **11.** Розробити та впровадити програмно-моделюючий комплекс кількісної оцінки токсичних форм важких металів у природних водах. Звіт про НДР за договором № 8/11-98 / Осадчий В.І., Осадча Н.М., Манченко А.П. та ін. / УкрНДГМІ Мінприроди України. – № 0198U000437. – К., 2000 – 100 с. **12.** Осадчий В.І. Математичне моделювання стану гідрохімічних систем у водоймі-охолоджувачі Запорізької АЕС / В.І.Осадчий, Н.М. Мостова // Наук. праці УкрНДГМІ. –2003. – Вип. 251. – С. 95-111. **13.** Осадчий В.І. Закономірності формування хімічного складу і якості води водойми-охолоджувача Запорізької АЕС / В.І. Осадчий., Н.М.Мостова // Наук. записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. В.Гнатюка. Серія Біологія. – 2005. – № 3(26). – С. 330-332. **14.** Мостова Н.М. Особливості температурного і кисневого режимів водойм в умовах теплового навантаження / Н.М. Мостова // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2006 – Вип. 255.. – С. 116-125. **15.** Осадчий В.І. Форми міграції важких металів розчинених у воді Дніпровських водосховищ / В.І. Осадчий, В.В. Кирничний, Н.М. Осадча // Наук. праці УкрНДГМІ. – 1998. – Вип. 246. – С. 105-119. **16.** Драйвер Дж. Геохимия природных вод / Дж. Драйвер. – М.: Мир, 1985. – 440 с. **17.** Allison J.D., Brown D.S., Novo-Gradac K.J. (1990). MINTEQA2/PRODEFA2, a geochemical assessment model for environmental systems: Version 3.0 user's manual. U.S. EPA, Athens, GA. – 106 p.

Особливості розподілу і трансформації хімічних речовин в умовах підігрітих вод (на прикладі водойми-охолоджувача Запорізької АЕС)

Осадчий В.І., Мостова Н.М., Осадча Н.М., Чернишова Л.О.

За результатами експериментальних досліджень, балансових розрахунків і фізико-хімічного термодинамічного моделювання визначені особливості поведінки і трансформації хімічних речовин і оцінена спрямованість їх міжфазового розподілу в умовах теплового навантаження. Визначена загальна направленість перерозподілу практично для всіх досліджених важких металів, іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , сполук азота і фосфора з фази розчину в донні відклади.

Особенности распределения и трансформации химических веществ в условиях подогретых вод (на примере водоема-охладителя Запорожской АЭС)

Осадчий В.И., Мостовая Н.М., Осадчая Н.Н., Чернышова Л.А.

По результатам экспериментальных исследований, балансовых расчетов и физико-химического термодинамического моделирования определены особенности поведения и трансформации химических веществ и оценена направленность их меж фазового распределения в условиях тепловой нагрузки. Определена общая направленность перераспределения практически для всех исследуемых тяжелых металлов, ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , соединений азота и фосфора из фазы раствора в донные отложения.

Features of distribution and transformation of chemical compounds in conditions of thermally enriched water (on an example of the cooling pond of the Zaporizhya NPP)

Osadchy V.I., Mostova N.M., Osadcha N.M., Chernyshova L.O.

On materials of experimental researches, balance calculations and physicochemical thermodynamic modeling is revealed features of action and transformation of chemical compounds and also there is estimated orientation of their interphase division in the conditions of thermal loading. The general orientation of redistribution is established practically for all researched heavy metals, ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , chemical compounds of nitrogen and phosphorus from the dissolving phase in bottom sediment.